

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-44873

(P2003-44873A)

(43) 公開日 平成15年2月14日 (2003.2.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 6 T 15/70		G 0 6 T 15/70	B 5 B 0 5 0
1/00	3 4 0	1/00	3 4 0 A 5 B 0 5 7
17/20		17/20	5 B 0 8 0

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-233407 (P2001-233407)

(22) 出願日 平成13年8月1日 (2001.8.1)

(71) 出願人 899000068

学校法人 早稲田大学

東京都新宿区戸塚町1丁目104番地

(72) 発明者 橋本 周司

東京都新宿区大久保3丁目4番1号 早稲田大学理工学部内

(72) 発明者 青木 義満

東京都新宿区大久保3丁目4番1号 早稲田大学理工学部内

(74) 代理人 100080089

弁理士 牛木 護 (外2名)

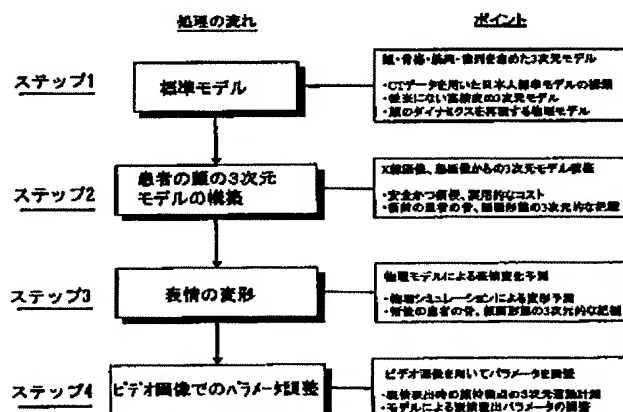
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顔の3次元モデルの作成方法及びその変形方法

(57) 【要約】

【課題】 コンピュータグラフィックなどにより人物の顔を3次元的に表示するリアル性に優れた顔の3次元モデルを簡単かつ迅速に作成することが可能であり、表情の変化に対する対応に優れた顔の3次元モデルの作成方法を提供する。

【解決手段】 あらかじめ複数の標準モデルを構築しておき、これら複数の標準モデルの中から被写体となる人物に近い標準モデルを選択し、この標準モデルをベースとして被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを構築し、これらを統合して顔の3次元モデルを作成する。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準顔表層モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の頭部骨格モデルを構築し、さらに被写体の歯列の型を用いて歯列の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の 3 次元モデルを作成することを特徴とする顔の 3 次元モデルの作成方法。

【請求項 2】 前記標準骨格モデル及び標準顔表層モデルが複数の個人の骨格及び顔表層データの特徴点を平均することにより 3 次元座標値を算出して構築されたものであり、前記標準的な歯列モデルが複数の個人の頭部の骨格から歯列の幅、高さ、奥行きをそれぞれ平均することにより構築されたものであることを特徴とする請求項 1 記載の顔の 3 次元モデルの作成方法。

【請求項 3】 前記標準モデルが、年齢、性別、人種などに応じてあらかじめ複数種類構築されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の顔の 3 次元モデルの作成方法。

【請求項 4】 標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準顔表層モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の頭部骨格モデルを構築し、さらに被写体の歯列の型を用いて歯列の 3 次元座標値を算出し、この 3 次元座標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の 3 次元モデルを作成した後、前記被写体の顔表層モデルと頭部骨格モデルとを接続するように表情筋モデルを配置し、表情筋の弾性係数を設定するとともに皮膚の弾性係数を設定して、表情筋の伸縮に伴う顔表層モデルの特徴点群の移動を算出して顔表層を変形し、被写体の顔の 3 次元モデルの表情を変化させることを特徴とする顔の 3 次元モデルの変形方法。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンピュータグラフィックなどにより人物の顔を 3 次元的に表示する顔の 3 次元モデルの作成方法に関する。また、本発明はこの作成した顔の 3 次元モデルを変形する方法に関する。

## 【0002】

【発明が解決しようとする課題】近年、コンピュータの性能の向上に伴い細かな物理的現象のモデル化が可能となるとともに精度の高いシミュレーションが可能となったことでコンピュータグラフィックの技術が大きく発展し、バーチャルリアリティや映画などのエンターテインメント分野において 3 次元モデルによる映像が盛んに用いられるようになってきた。一方、医療分野では、CT や MRI などの 3 次元計測機器の発達によって、高精度な人体形状データの取得が可能となったが、これら 3 次元形状情報を効果的に表示する手段としてコンピュータグラフィックスの技術が応用されている。

【0003】このコンピュータグラフィックを利用したリアルな 3 次元モデルの生成技術としては、従来は、3 次元の基本となる顔モデルを用意し、更にそのモデルを変形した後、テクスチャを貼り付けることで表情合成を行う方法が行われてきた。このような顔モデルを用いた表情合成の手法としては、あらかじめ定義された幾何学的な変形則を用いるものや、皮膚・筋肉をバネとして表現し、物理的なモデリングを行うもの等が代表的である。これらのうち幾何学的変形則を用いた方法においては、3 次元の顔形状モデルを FACS (Facial Action Coding System) に従った表現記述則によって変形することで表情を生成するものが提案されている。ここで FACS とは心理学者らによって開発された表現記述法で表情変化に伴う顔面の動きを心理的な観点から捉え、44 個の AU と呼ばれる基本動作に分類したものである。この手法は比較的少ない計算量で汎用性に富んだ表情を合成できるため処理速度が高速であるので知的符号化・臨場感通信等のリアルタイム性が要求されるアプリケーションやマン・マシンインターフェースにおける擬人化エージェント等での利用に好適であるが、その反面、動作の分類数が 44 個と少ないので、個々の人がもつ顔の特徴を吸収してしまいリアル性に劣るという問題点がある。また、解剖学的な顔の構造を考慮しているわけではないため、表情の運動等の表情生成時の生理的なメカニズムを再現することができないという問題点がある。

【0004】一方、物理的な手法では、顔面の筋肉や皮膚を物理的なバネでモデリングし、頂点にかかる力によってモデルを変形している。これは、実際の顔の表情が顔面皮膚下に走る筋肉（表情筋）の伸縮によって生成されていることに着目した手法であり、表情の動きを直接表現することが可能で、表情の生成過程を滑らかに表現できるが、パラメータの調整が微妙かつ困難で計算量が

(3)

膨大になってしまい、短時間で生成することが困難でコスト的負担も大きいという問題点があった。

【０００５】しかもこれら従来の顔の３次元モデルの作成方法は、骨格形状をほとんど考慮していないためリアル性において劣るという問題点があった。

【０００６】そこで、最近ではＣＴやＭＲＩなどから得られたデータを利用して骨格形状をも考慮した解剖学的なモデルを構築し、これに基づいて顔の３次元モデルを生成することが行われている。しかしながら、医療用などの用途においては短時間で被写体である患者の顔の３次元モデルを構築する必要があるが、この方法では顔の３次元モデルの構築に長時間を要する上にコストも大幅にかかってしまい汎用性に欠けるという問題点があった。これは、被写体顔の形状は千差万別であるのに対し、基礎となるモデルが固定的であるので、その補正作業が難航し、時間的・コスト的負担が大きいことに一因がある。その一方で、患者の頭部の３次元データを得るにはＣＴなどを利用しているが、ＣＴを利用すると患者の放射線の被曝量が多くなるという問題点もあった。さらに、この顔の３次元モデルの作成方法では必ずしも満足のいくリアルなものが得られず、さらに表情変化の生成も十分でなかった。

【０００７】本発明はかかる課題に鑑みてなされたものであり、コンピュータグラフィックなどにより人物の顔を３次元的に表示するリアル性に優れた顔の３次元モデルを簡単かつ迅速に作成することが可能であり、表情の変化に対する対応に優れた顔の３次元モデルの作成方法を提供することを目的とする。また、本発明は、このようにして作成したリアルな顔の３次元モデルを変形する方法を提供することを目的とする。

【０００８】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項１記載の顔の３次元モデルの作成方法は、標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準顔表層モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の頭部骨格モデルを構築し、さらに被写体の歯列の型を用いて歯列の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の３次元モデルを作成する方法である。

【０００９】このような構成を採用することにより、あらかじめ複数の標準モデルを構築しておくことで、これ

ら複数の標準モデルの中から被写体となる人物に近い標準モデルを選択し、この標準モデルをベースとして被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを構築し、これらに基づき被写体の顔の３次元モデルを作成することができる。このとき、被写体に応じた標準モデルをベースとしているので各モデルを構築する際の補正量が少なくすむため、簡単かつ迅速に顔の３次元モデルを作成することができる。また、本発明者の研究によれば、人の表情に大きな影響を及ぼすファクターとしては歯列も重要であることから、顔表層モデル、頭部骨格モデルだけでなく、歯列モデルも構築して顔の３次元モデルを作成することにより、表情変化の再現性に優れ従来よりもリアルな顔の３次元モデルを生成することが可能となる。

【００１０】また、請求項２記載の顔の３次元モデルの作成方法は、前記請求項１において、前記標準骨格モデル及び標準顔表層モデルが複数の個人の骨格及び顔表層データの特徴点を平均することにより３次元座標値を算出して構築されたものであり、前記標準的な歯列モデルが複数の個人の頭部の骨格から歯列の幅、高さ、奥行きをそれぞれ平均することにより構築された方法である。このような構成を採用することにより、年齢、性別等が既知の個人データを利用することにより標準モデルを簡単かつ正確に構築することができる。

【００１１】また、請求項３記載の顔の３次元モデルの作成方法は、前記請求項１又は２において、前記標準モデルが、年齢、性別、人種などに応じてあらかじめ複数種類構築されている方法である。このような構成を採用することにより、種々の被写体となる人物に近い標準モデルをあらかじめ構築しておくことで、各モデルを構築する際の補正量が少なくすむため、簡単かつ迅速に顔の３次元モデルを作成することができる。

【００１２】さらに、上述したようにして作成された顔の３次元モデルを変形する本発明の請求項４記載の方法は、標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準顔表層モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の頭部骨格モデルを構築し、さらに被写体の歯列の型を用いて歯列の３次元座標値を算出し、この３次元座標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の３次元モデルを作成した後、前記被写体の顔表層モデルと頭部骨格モデルとを接続するように表情筋モ

(4)

デルを配置し、表情筋の弾性係数を設定するとともに皮膚の弾性係数を設定して、表情筋の伸縮に伴う顔表層モデルの特徴点群の移動を算出して顔表層を変形し、被写体の顔の3次元モデルの表情を変化させる方法である。このような構成を採用することにより、顔の3次元モデルの表情をリアルに変化させることができる。

#### 【0013】

【発明の実施形態】以下、本発明の一実施例である医療分野での顔の3次元モデルの作成方法、及びその変形方法について図1乃至図11を参照して詳細に説明する。本発明の方法は基本的にはパーソナルコンピュータなどの情報処理装置により行われるものであり、本実施例の方法の基本的な処理のフローを図1に示す。同図に示すように、まず、ステップ1では、被写体である顔の3次元モデルのベースとなる複数の標準モデルをあらかじめ構築する。この標準モデルは、標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなるものであり、被写体の顔の特徴点とのズレが少ない方が望ましいことから種々のバリエーションをできるだけ準備しておくのが望ましく、例えば、性別、人種、年齢などに応じて準備しておく。したがって、日本人を対象とする場合には、日本人の各種年齢層の顔部CTデータをあらかじめ入手し、これを用いて標準モデルを構築すればよい。この際、本実施例においては、個々人の歯列モデルをも考慮して標準モデルを構築しているので、各種年齢層の標準的な顔を高精度に表したものであり、顔のダイナミクスを再現する。

【0014】そして、ステップ2で、患者の顔の3次元モデルを構築する。この患者の顔の3次元モデルは、ステップ1で構築しておいた標準モデルの中から患者に最も近似するものを選択してこれをベースとして作成する。具体的には、患者の顔の正面から左右側面にむけてそれぞれ所定の角度ずつ回転した複数の顔画像を用いて顔表層モデルを構築する一方、患者の正面及び側面のX線画像による骨格画像を用いて頭部骨格モデルを構築し、さらに患者の歯列の型を用いて歯列モデルを構築する。これにより患者はCTなどと比較してX線の照射量が少なくすむため安全であり、そして、簡便かつ実用的なコストで顔の3次元モデルを構築することができ、手術前などの患者の骨格及び顔表層の3次元的な把握が可能となる。ここまでの、顔の3次元モデルの作成方法である。

【0015】そして、ステップ3以降は、このようにして得られる患者の顔の3次元モデルの変形方法であり、ステップ3は、得られた顔の3次元モデルの表情を変化させたり、物理モデルによる術後の顔貌の変化を予測したりするプロセスであり、ステップ4は、ビデオカメラを用いてさらに精度よく表情を再現するプロセスである。

【0016】以下、各ステップについて詳細に説明す

る。

#### ステップ1 標準モデルの構築

ステップ1の概要は図2に示すとおりであり、まず、ベースとなるワイヤーフレームモデル（以下、基本モデルという）のデータを用意する。このワイヤーフレームモデルとしては、顔表層モデル、骨格モデル及び歯列モデルからなるものを用いるのが好ましく、例えば、ViewPoint社製の5072点、7757ポリゴンのもので市販のものを用いることができる。

【0017】一方、特定の人種、性別及び年齢（例えば日本人の30歳代の男性など）の複数（5人程度）の個々人の顔部の3次元CTデータを入手し、このCTデータに基づき顔表面と骨格の3次元画像を構築する。この3次元画像は、例えばCT撮影により所定間隔で顔部の断層画像を得て、これらの画像列に対してX線の透過度の違いを利用したしきい値処理とアーチファクトの除去を行い、骨格と軟組織部を分離し、骨格及び顔表層のそれぞれについて得ることができる。

#### ①標準顔表層モデル

まず、得られた各個人の顔表層の3次元画像中から市販のソフトウェアなどを使用して約100点の特徴点を抽出し、各点の3次元座標値を求める。ここで、特徴点とは、境界の形状を定義するために必要となる点のことで、直線と円弧との境界点、節点の粗密が変更する場所などに配置するものであり、基本モデルでは、100点よりも多くの特徴点が抽出されているが、本実施例においては、作業性の点で顔表面及び骨格において重要な特徴点（以下、対応特徴点という）のみを選択的に抽出する。そして、全員の特徴点の3次元座標値を平均して各特徴点の平均3次元座標値を求める。ここで、3次元座標は、相対的な値であるので、何を基準としてもよいが、例えば、図3に示すように両耳を貫通する軸線（Ear Rod）の中心Oを基準として左右方向をX軸、上下方向をY軸、前後方向をZ軸としてこの中心Oからの位置を表記すればよい。

【0018】そうしたら、基本モデルを変形する。この変形は、顔表層の基本モデルの対応特徴点にそれぞれの平均3次元座標値を与え、各点をその座標値に移動し、また、基本モデルの対応特徴点以外の特徴点については、近傍の対応特徴点の移動量から3次元的にその位置における適当な移動量を与えることにより行えばよい。このようにしてCTデータにより得られた各個人の平均座標値を用いて顔表面の基本モデルの全特徴点の移動を完了し、標準顔表層モデルとする。

#### ②標準骨格モデル

次に骨格の場合には各個人の骨格の3次元画像中から約60点の特徴点を抽出し、同様に各特徴点の3次元座標値を求め、各個人の平均3次元座標値を算出して、この平均3次元座標値に基づいて、前述した標準顔表層モデルの場合と同様に基本モデルを変形することにより、骨

(5)

格の基本モデルの全特徴点の移動を完了し標準骨格モデルとする。

### ③標準歯列モデル

標準歯列モデルに関しては、歯の数や並び方は標準的なものであるため、おおまかなサイズ変換のみで標準モデル化することができる。すなわち、各個人の頭部CTデータから骨格部分のみのデータを抽出し、歯列全体の幅、高さ、奥行きをそれぞれ計測する。この歯列の計測は、高精度3次元デジタルライザなどを用いた市販のソフトウェアを使用して行えばよい。そして、全員のデータを平均して、平均の歯列全体の幅、高さ、奥行きの長さを算出する。このデータと歯列の基本モデルのデータとの比を求め、この比を歯列の基本モデルの特徴点の座標値にかけること、基本モデルの座標変換を行い標準歯列モデルとする。

【0019】このようにして得られた標準骨格モデル、標準顔表層モデル及び標準歯列モデルを組み合わせることにより所定の人種、性別、年齢の標準モデルを構築することができる。

### ステップ2 患者の顔の3次元モデルの構築

ステップ2の概要は図4乃至図7に示すとおりである。ここで例えば、患者が日本人の35歳の男性である場合には、事前に複数種類用意してある標準モデルの中から最もその条件に適したものを選択する。すなわち、この場合には日本人、30代、男性の標準モデルを選択する。

### ①顔表層モデル

まず、顔表層モデルの構築について説明すると、図4に示すようにカメラから患者（被写体）までの距離が既知な環境（例えば、その距離100cm）において、顔の真正面から90度づつを左右に15度づつ回転しながらそれぞれ撮影して計13枚の画像（F、L1～L6及びR1～R6）を得る。これら各画像からステレオ計測により主要な顔面上の特徴点を抽出（例えば50点程度）し、各点の3次元座標値を求め、これを全画像について統合することにより、顔前面180°における特徴点の座標値を得る。ここで、ステレオ計測とは、視点の異なる2枚の撮影画像から対象物の計測点のペアを相関法などにより自動抽出し、既知である視差を利用してその3次元座標値を得る手法のことである。

【0020】そうしたら、標準顔表層モデル（ワイヤーフレームモデル）の対応特徴点に、計測された3次元座標値を与え各特徴点をその座標値に移動し、また、対応特徴点以外の特徴点については、近傍の対応特徴点の移動量から補間法により滑らかに移動することにより、標準モデルの顔表面の全特徴点の移動を完了し、顔表層モデルを構築することができる。

### ②骨格モデル

骨格モデルの構築においては、図5に示すように患者の正面及び側面のX線規格写真を撮影し、これをトレース

して正面及び側面のセファログラムを作成する。この正面及び側面のセファログラムをスキャナーで読み込み、デジタル画像とする。このデジタル画像をパーソナルコンピュータに取り込んでそれぞれの画像から骨格上の特徴点60点をプロットし、拡大、回転補正を含むセファログラム3次元計測法を用いて各特徴点の3次元座標値を得る。ここで、セファログラム3次元計測法とは、一般のステレオ計測法を正面・側面セファログラムに対して適用したものであり、それに頭部の位置・姿勢の変動に起因する拡大・回転誤差補正を加えて、骨格上の特徴点の正確な3次元座標値を得る手法のことである。

【0021】そうしたら、標準骨格モデルを変形する。この変形は、標準骨格モデル（ワイヤーフレームモデル）の対応特徴点に得られた3次元座標値をそれぞれ与え、各特徴点をその座標値に移動し、また、標準骨格モデルの対応特徴点以外の特徴点については、近傍の対応特徴点の移動量から補間法により滑らかに移動することにより、標準骨格モデルの全特徴点の移動を完了することにより行う。このようにして、骨格モデルを構築することができる。

### ③歯列モデル

歯列モデルの場合は、図6に示すように患者の歯列石膏模型を作成し、この各歯（計32本）及び歯列の端点6点について高精度3次元デジタルライザなどの接触型3次元デジタルライザを用いて計測し、これらの3次元座標値を得る。次に、標準歯列モデルを変形する。この変形は、標準歯列モデルの対応特徴点にそれぞれ計測した3次元座標値を与え、各特徴点をその座標値に移動し、また、対応特徴点以外の特徴点については、近傍の対応特徴点の移動量から補間法により滑らかに移動することにより、標準歯列モデルの全特徴点の移動を完了することにより行う。このようにして個人の歯の大きさや傾き、配置を3次元的に正確に再現した歯列モデルを構築することができる。

### ④各モデルの統合

このようにして患者の顔表層モデル、骨格モデル及び歯列モデルを構築したら、これらを表情筋モデルとともに統合する。すなわち、図7に示すようにまず顔表層モデル及び骨格モデルを側面セファログラムと重ねあわせ、それぞれの傾きをあわせることで正しい位置関係を得る（①）。また歯列モデルについても同様に側面セファログラムと重ね合わせた上でその傾きをあわせる（②）。そして、表情筋モデルについては一般的なものをを用いて、骨格モデルと顔表層モデルとの間の標準的な位置に配置する（③）ことにより、顔表層モデル、骨格モデル、歯列モデル、及び表情筋モデルを含めた患者の顔の3次元モデルを得ることができる。

【0022】なお、表情筋モデルは、14種類の筋肉から構成されるが、主要なものは図8に示すようにA～Lの12種類であり、実際は骨格から起始し、皮膚に付着

(6)

するといった形態をとっており、これらの収縮運動によって顔表面に複雑かつ微妙な表情を生み出している。本発明のモデルでは、表情表出にかかわっている表情筋を非線型バネに仮想し、その弾性係数によって筋肉の強度を再現している。表情筋は大きく放射状筋と輪状筋に分類できるが、放射状筋（A～C及びE～J）は骨格と皮膚とを結ぶ直線状のばねで、輪状筋（D及びL）の場合はバネを輪状に結合することでその形態を再現する。これらの筋肉の運動に伴う表情の生成については後述する。

【0023】上述したようなステップ1及びステップ2により基本的な顔の3次元モデルを作成することができる。この本実施例の方法によれば、あらかじめ複数の標準モデルを構築しておき、これら複数の標準モデルの中から患者となる人物に近い標準モデルを選択し、この標準モデルをベースとして患者の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを構築し、これらを統合して顔の3次元モデルを作成しているの、従来よりも迅速かつ簡単に顔の3次元モデルを作成することができる。また、従来は個々の3次元モデルにおいて歯列についてはほとんど考慮されていなかったが、本発明者らの研究によれば、例えば、歯部に欠損や特異な特徴がある場合には、その部分は顔の表層部の特徴点に大きな影響を与え、さらに、この歯列を含む下顎は、最も激しい動きを示す頬部により運動するので、歯列の形状等が顔の3次元モデルのリアル性に大きな影響を及ぼすことがわかった。そこで、本実施例ではこの歯列モデルを個別に作成することでリアル性において非常に向上したものとなっている。また、標準モデルが複数の個人の頭部骨格モデル及び標準顔表層モデルの特徴点を平均することにより3次元座標値を算出して構築されたものであり、標準的な歯列モデルが複数の個人の頭部の骨格から歯列の幅、高さ、奥行きをそれぞれ平均することにより構築されているので、標準モデルを簡単かつ正確に構築することができる。さらに、患者の画像は、X線写真及び通常の写真のみでよく、CTやMRIを行う必要がないので、X線の被曝量を最小限に抑制することができ、安全性が向上するという効果も奏する。

#### ステップ3 変形シミュレーション

前述したステップ2で作成した顔の3次元モデルを変形することで、喜怒哀楽などの表情をリアルに生成することができれば、顔の3次元モデルの利用価値をさらに高めることができる。例えば、医療用の分野では術後の表情をあらかじめリアルに再現することができれば、被写体である患者が判断しやすく、安心感を与え、また無用のトラブルを忌避することができて望ましい。

【0024】そこで、本実施例の方法により生成した顔の3次元モデルの表情を変形する方法について以下説明する。

【0025】まず、顔表層モデルと表情筋モデルに弾性

を持ったバネとしての性質を持たせる。顔表面の皮膚の弾性については、図9に示すように顔表層モデルを第1～第8の8つの顔面ユニットにグループ化し、それぞれに適した弾性を与えることとする。表情筋の多くは一つのユニット内で終始し、ユニット境界面に付着している。そのため、このライン上にしわが生じやすいのである。特に重要なのは眉と鼻唇溝のラインであり、多くの表情筋が互いに協調して動作し、さまざまな表情が生成される。そこで、本実施例の3次元モデルでは、主に表情生成に関わっている表情筋を表1及び図8に示すように12種類（6グループ）に分け、それぞれの表情筋群を各ユニット内に収めた上で、それらの付着位置を境界面上にとることで実際の表情筋の走向を再現することとした。

【0026】

【表1】

筋肉番号	筋肉名	グループ名
A	前頭筋	前頭部
B	皺眉筋	
C	鼻根筋	
D	眼輪筋	眼輪部
E	眼角筋	頬部
F	眼窩下筋	
G	小頬骨筋	
H	大頬骨筋	口角部
I	口角挙筋	
J	頬筋	
K	口角下削筋	口輪部
L	口輪筋	

【0027】また、表情生成時には、収縮する筋肉を収めているユニットと、それに隣接するユニットのみを動作させるようにすることで、モデルを構成する特徴点が無制限に動くのを抑制するとともに、顔全体の特徴点について計算を行う必要がなくなるため、現実的な顔面変形と効率的な表情生成が可能である。例えば、頬の筋肉群の収縮によって動くのは、それを収める第4ユニットとそれに隣接するユニット上の特徴点であって、その他の部分は影響を受けることが少ないため、計算を省くことができる。特に、鼻の第7ユニットと側頭部の第8ユニットとはほとんど動くことがないので固定点とみなすことができる。

【0028】次に、筋肉や皮膚の弾性をばねによって近似する方法について説明すると、無表情時の各ユニットを走査する表情筋の長さを求め、これを基準の筋肉長 $L_n$ とする。また、最大収縮時の筋肉長を $L_{min}$ とする。そして、筋肉長さが $L_j$ のときの筋肉収縮率 $C_r$ を次式によって定義する。

【0029】

【数1】



(7)

$$C_r = \frac{L_n - L_j}{L_n - L_{min}} \times 100 \quad (L_{min} \leq L_j \leq L_n)$$

【0030】そして、筋肉収縮率の値に対する弾性定数の性質を図10に示すように2本の傾きの異なる直線によって表し、筋肉の非線形性に近似させる、そしてこれらの2本の直線の傾きを変えることで、筋肉の弾性を制御することが可能である。

【0031】一方、表情筋モデルにあたるバネが収縮する際には、それにつながっている顔表層モデルの特徴点群が引っ張られて変形する。この際の変形の仕方は、各特徴点についての3次元の運動方程式を逐次解くことに

$$m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2} = - \sum_{j,j} k_{ij} (r_i - r_j) + m_i g - R \frac{dr_i}{dt}$$

・・・ (1)

【0033】式中、 $r_i$ 、 $r_j$ はそれぞれ皮膚モデル上の特徴点*i*とそれとばねでつながった特徴点*j*の位置ベクトルを示し、式(1)の右辺第1項は弾性力、第2項は重力、及び第3項は粘性項をそれぞれ示す。なお、 $R$ は粘性定数であり、弾性係数 $K_y$ の値は筋肉収縮率 $C_r$ によって2段階で変化させ、皮膚及び筋肉の非線形性を近似

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = \frac{\delta E}{\delta x_i}$$

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = \frac{\delta E}{\delta z_i}$$

【0035】

$$E = \sum_{i,j} k_{ij} (L_{ij} - l_{ij})^2 + \sum_{i,h} k_{ih} \left( L_{ih} - l_{ih} - \frac{\Delta f_{ih}}{k_{ih}} \right)^2$$

・・・ (3)

【0036】式中、 $(x_i, y_i, z_i)$ は皮膚モデルの特徴点*i*の座標であり、 $l_{ij}$ は皮膚モデル上の特徴点*i*、*j*を結ぶばねの自然長であり、 $l_{ih}$ は骨格の点*i*と皮膚の点*h*を結ぶばねの自然長であり、 $L_{ij}$ 、 $L_{ih}$ は皮膚筋肉を表す実際のばねの長さであり、 $k_{ij}$ は皮膚弾性定数であり、 $k_{ih}$ は筋肉弾性定数であり、 $\Delta f_{ih}$ は表情筋*ih*に加わる力であり、さらに $E$ はモデル全体における系の弾性エネルギーである。なお、皮膚弾性定数 $k_{ij}$ は、皮膚の弾性を決定するパラメータで、表情生成実験を通して各ユニット毎に経験的に値を定める。筋肉弾性定数 $k_{ih}$ は筋肉の強度を決定するパラメータで、表情生成実験を通して各部位の筋肉群毎に経験的に値を定め

よって解析的に求められる。皮膚モデル上の特徴点*i*における運動は、下記式(1)の運動方程式を解くことで算出する。ここで、筋肉収縮率 $C_r$ は、前述したとおりであり、また骨格運動による顔面変形は、各軸回りとしての下顎骨の回転角、及び各軸に沿った平行移動量をパラメータとして与え、同じく式(1)の運動方程式を解くことで求めることができる。

【0032】

【数2】

している。ここで、 $m_i$ が $R$ に対して十分に小さいと仮定すると、式(1)は次のような微分方程式(2)(3)として近似できる。

【0034】

【数3】

$$\frac{dy_i(t)}{dt} = \frac{\delta E}{\delta y_i} + g t$$

・・・ (2)

【数4】

る。

【0037】皮膚モデルの特徴点は式(3)に従って移動するが、表情筋モデルは骨格モデルの曲面に拘束されて運動するようになっているため、皮膚モデルの特徴点が骨格に入り込むことがないように制御されている。

【0038】また、筋肉の伸縮に加え、下顎骨の運動も表情生成の重要な要因なのである。口の開閉などの動きはこの要因と筋肉の収縮が組み合わさって実現される。下顎骨に含まれる特徴点の運動は、下記式(4)のような座標変換によって表される。

【0039】

【数5】

(8)

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_y & -\sin \theta_x \sin \theta_y & -\cos \theta_x \sin \theta_y \\ 0 & \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ \sin \theta_y & \sin \theta_x \sin \theta_y & \cos \theta_x \cos \theta_y \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_z \end{pmatrix} \dots (4)$$

【0040】式中、 $(x_i, y_i, z_i)$ は移動前の骨格モデルの特徴点座標であり、 $(x', y', z')$ は移動後の座標である。 $\theta_x, \theta_y$ はそれぞれ下顎の上下方向（ $x$ 軸方向）及び左右方向（ $y$ 軸方向）の回転角パラメータであり、 $l_z$ は下顎の前後方向（ $z$ 軸方向）の並進パラメータである。なお、この座標変換の原点は顎関節の支点である。

【0041】下顎骨の運動による表情生成では、まず式（4）の座標変換によって下顎骨部の特徴点群を移動させる。そして、その運動に伴って生じる皮膚、筋肉のばねの伸縮による弾性エネルギーを求め、平衡状態に達するまで計算を行い、特徴点を移動させる。こうして、骨

格の運動に伴った口の開閉や下顎の突出、ねじれなどを再現する。

【0042】そして、これらに基づき人間の基本的な表情パターンである「微笑み」、「怒り」、「悲しみ」、「驚き」などにおいて収縮する筋肉番号、筋肉収縮率、収縮するユニット、下顎回転角などを表2に示すようにあらかじめ計測しておく。これらに基づいて、患者の顔の3次元モデルの顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルの該当する特徴点を移動させることにより患者の顔の3次元モデルの表情を変化させることができる。

【0043】

【表2】

表情	筋肉番号	筋肉収縮率 (%)	ユニット番号	下顎回転角 (°)
微笑み	E, F, G, H, I	55	3, 4, 5	3
怒り	B, C	85	1, 2, 3	—
	D	20		
悲しみ	A-1	90	1, 2, 3, 4, 5, 6	6
	A-2, A-3	85		
	A-4	80		
	A-5	75		
	E, F	30		
驚き	A	90	1, 2, 3, 4, 5, 6	15

【0044】また、本実施例の患者の顔の3次元モデルの変形方法によれば、手術後の顔貌を提示することができる。例えば、歯列の矯正を行う場合には、市販のパーソナルコンピュータなどに前述したステップ1～3の操作を行うプログラムを入力しておき、前述したステップ1及びステップ2の操作により矯正前の顔面形態の3次元的な把握、分析を行った後、術後の骨格の変化に基づいて下顎移動量を入力し、顔面変形過程を運動方程式を解いて算出し、頭部骨格モデルの各特徴点を移動させ、その上から顔表層モデル及び歯列モデルを重ねて骨格の変化に伴いこれらの特徴点を移動させることにより、歯列矯正後の患者の顔の3次元モデルの表情をシミュレートすることができる。この操作は市販のパーソナルコンピュータを用いても約1分/件の速度で処理することができ、ディスプレイで直接表示することができるので、被写体である患者への効果的な情報提示ツールとするこ

とができる。また、歯列だけでなく、顔全体の整形を行う場合には、同様に整形前の顔面形態の3次元的な把握、分析を行った後、術後の骨格の変化に基づいて頭部骨格モデルの特徴点を移動させ、その上から、頭部骨格モデルの変化と顔表層自体の変化に基づいて顔表層モデルの特徴点を移動させ、さらに歯列モデルを重ねて特徴点を移動させることにより、整形後の患者の顔の3次元モデルの表情をシミュレートすることができる。

#### ステップ4 ビデオ画像を用いた患者の筋肉・皮膚弾性のパラメータの調整

ステップ3で生成した表情は、患者のビデオ画像を用いて図11のフローに示す操作によりさらにリアルなものとするすることができる。

【0045】まず、患者の顔表面に黒丸のマーカー1を20個ほど貼付する。このマーカーは、例えば表情表出時に動作する主要な特徴点と、頭部の姿勢補正用にあま



(9)

り動かないと思われる3点程度の特徴点とを選定する。そして、患者の表情を左右斜め2方向からデジタルビデオにより同時に動画像として撮影する。このとき、顎運動、咀嚼運動、発話動作、笑顔、嫌悪など、様々な表情の動画像を撮影する。

【0046】そして、市販の光学式モーションキャプチャソフトなどのコンピューターソフトにより、動画像から各マーカーの位置を自動的に検出して、このマーカーに相当する特徴点の時系列の3次元座標値を計測する。これとは別に、患者の顔の3次元モデルに対して各筋肉の弾性係数及び筋肉収縮量、下顎運動量を表情パラメータとして与えて顎運動、咀嚼運動、発話動作、笑顔、嫌悪などに対応させて顔の3次元モデルを変形して各種表情の表情動画像を得る。

【0047】そして、各種表情等におけるマーカー位置に基づく3次元座標値と、患者の顔の3次元モデルの変形による対応点の軌跡とを比較し、顔表面の特徴点間の誤差の総和を計算する。そして、この誤差の総和があらかじめ設定しておいた閾値以内であるか否かを較し、閾値を超える場合には、そのユニットについて筋肉の収縮量、弾性係数、皮膚の弾性係数などのパラメータを誤差の値が小さくなるように微調整し、再度患者の顔の3次元モデルを変形して表情を生成し、すべてのユニットにおける誤差の総和が閾値以下になるまで、前述した比較・パラメータ調整の操作を繰り返す。このようにして、表情動画像から個人の顔の3次元モデルを用いて様々な表情生成を可能とすることができる。

【0048】以上、本発明の顔の3次元モデルの作成方法及びその変形方法について一実施例に基づいて説明してきたが、本発明は前記実施例に限定されず種々の変形実施が可能である。例えば、標準顔表層モデルや標準骨格モデルにおいて抽出する特徴点の数を本実施例ではそれぞれ100点及び60点としたが、これより多くても少なくとも可能である。ただし、抽出する特徴点の数が多いほど得られる顔の3次元モデルの精度が向上する反面処理時間を要するので、使用する情報処理装置であるパーソナルコンピュータなどの性能、頭部3次元モデルの用途などに応じて適宜選択すればよい。上述したような本発明の顔の3次元モデルの作成方法は、歯科矯正手術シミュレーションなどの医用分野、整形・形成外科などの医学的分野、心理学上の動的な顔面運動の分析などに好適であるが、これらの医療的な分野における患者への適用に限らず、アニメーション、ゲーム、映画などのエンターテインメントの分野、さらにはヒューマノイド型ロボットの頭部の設計など幅広い分野への応用が期待できる。

【0049】

【発明の効果】本発明の請求項1記載の顔の3次元モデルの作成方法は、標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の3次元座標値を算出し、この3次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の3次元座標値を算出し、この3次元座標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の3次元モデルを作成する方法であるので、被写体に応じた標準モデルをベースとすることで、各モデルを構築する際の補正量が少なくすむため、簡単かつ迅速に顔の3次元モデルを作成することができる。また、顔表層モデル、頭部骨格モデルだけでなく、歯列モデルも構築して顔の3次元モデルを作成することにより、表情変化の再現性に優れ従来よりもリアルな顔の3次元モデルを生成することが可能となる。

【0050】また、請求項2記載の顔の3次元モデルの作成方法は、前記請求項1において、前記標準骨格モデル及び標準顔表層モデルが複数の個人の骨格及び顔表層データの特徴点を平均することにより3次元座標値を算出して構築されたものであり、前記標準的な歯列モデルが複数の個人の頭部の骨格から歯列の幅、高さ、奥行きをそれぞれ平均することにより構築された方法であるので、標準モデルを簡単かつ正確に構築することができる。

【0051】また、請求項3記載の顔の3次元モデルの作成方法は、前記請求項1又は2において、前記標準モデルが、年齢、性別、人種などに応じてあらかじめ複数種類構築されている方法である。このような構成を採用することにより、種々の被写体となる人物に近い標準モデルをあらかじめ構築しておくことで、各モデルを構築する際の補正量が少なくすむため、簡単かつ迅速に顔の3次元モデルを作成することができる。

【0052】さらに、上述したようにして作成された顔の3次元モデルを変形する本発明の請求項4記載の方法は、標準骨格モデルと標準顔表層モデルと標準歯列モデルとからなる複数種の標準モデルをあらかじめ構築しておき、被写体の顔の正面から左右側面にむけて回転させた複数の顔画像を用いて被写体の顔面上の特徴点の3次元座標値を算出し、この3次元座標値に基づいて前記標準顔表層モデルを補正して被写体の顔表層モデルを構築する一方、被写体の正面及び側面の骨格画像を用いて被写体の骨格上の特徴点の3次元座標値を算出し、この3次元座標値に基づいて前記標準骨格モデルを補正して被写体の頭部骨格モデルを構築し、さらに被写体の歯列の型を用いて歯列の3次元座標値を算出し、この3次元座

(10)

標値に基づいて前記標準歯列モデルを補正して被写体の歯列モデルを構築し、これら被写体の顔表層モデル、頭部骨格モデル及び歯列モデルを統合することにより被写体の顔の3次元モデルを作成した後、前記被写体の顔表層モデルと頭部骨格モデルとを接続するように表情筋モデルを配置し、表情筋の弾性係数を設定するとともに皮膚の弾性係数を設定して、表情筋の伸縮に伴う顔表層モデルの特徴点群の移動を算出して顔表層を変形し、被写体の顔の3次元モデルの表情を変化させる方法である。このような構成を採用することにより、顔の3次元モデルの表情をリアルに変化させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による顔の3次元モデルの作成方法の処理の流れを概略的に示すフローチャートである。

【図2】前記実施例におけるステップ1の操作を示すフローチャートである。

【図3】前記実施例における座標中心を示す正面図であ

る。

【図4】前記実施例におけるステップ2の患者の顔表層モデル作成操作を示すフローチャートである。

【図5】前記実施例におけるステップ2の患者の骨格モデル作成操作を示すフローチャートである。

【図6】前記実施例におけるステップ2の患者の歯列モデル作成操作を示すフローチャートである。

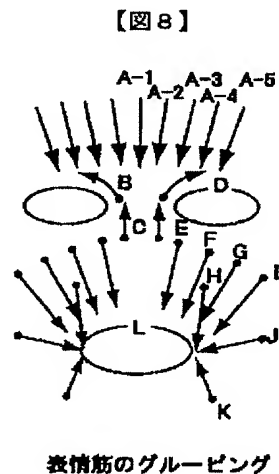
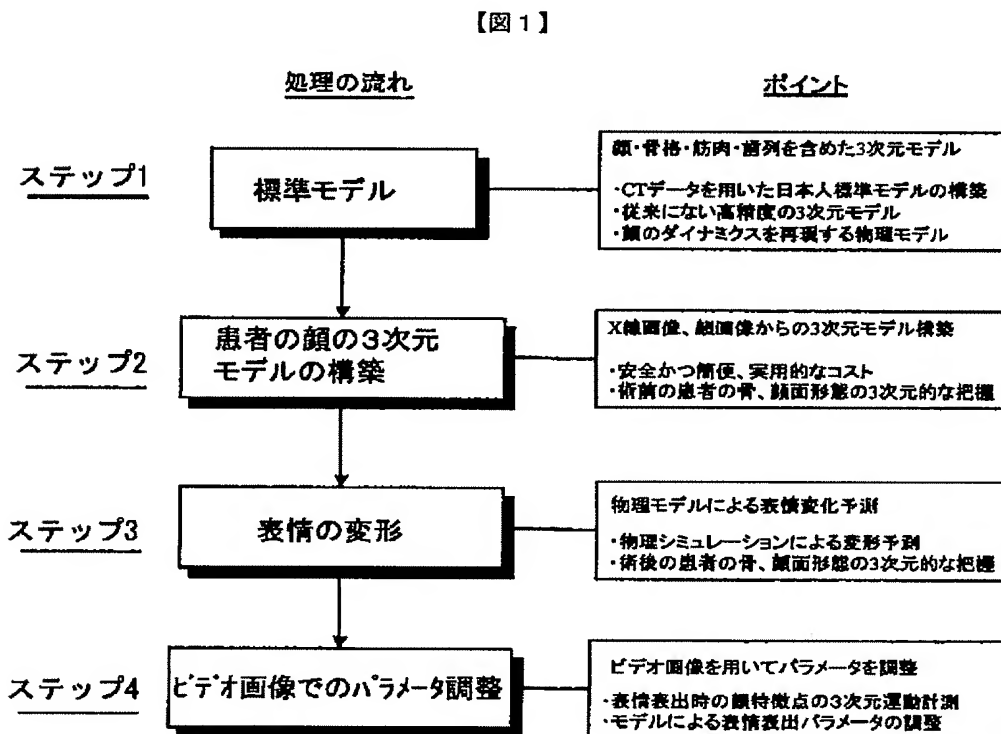
【図7】前記実施例におけるステップ2の患者の顔の3次元モデルの統合操作を示すフローチャートである。

【図8】表情筋モデルにおける筋肉の種類を示す正面図である。

【図9】顔表層モデルにおいて表情筋を分類したユニットを示す正面図である。

【図10】表情筋モデルに見立てた非線形ばねの性質を示すグラフである。

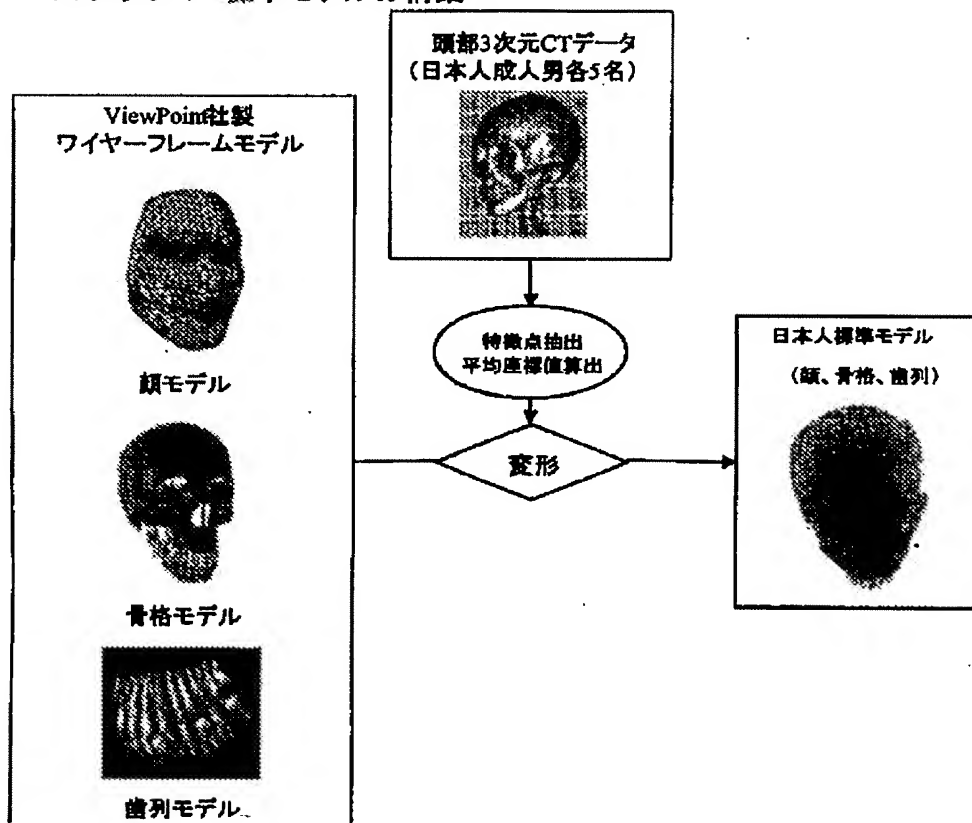
【図11】ビデオ画像を用いた被写体の筋肉・皮膚弾性のパラメータの調整方法を示すフローチャートである。



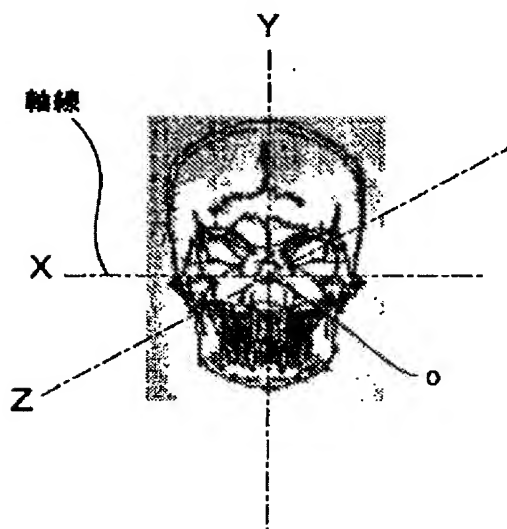
(11)

【図2】

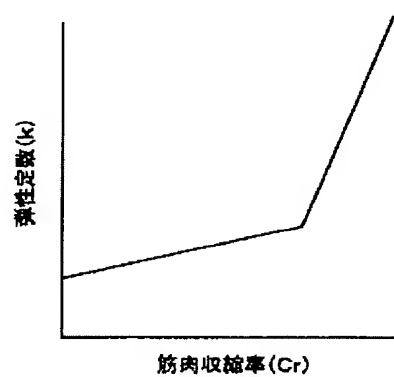
## ステップ1 標準モデルの構築



【図3】



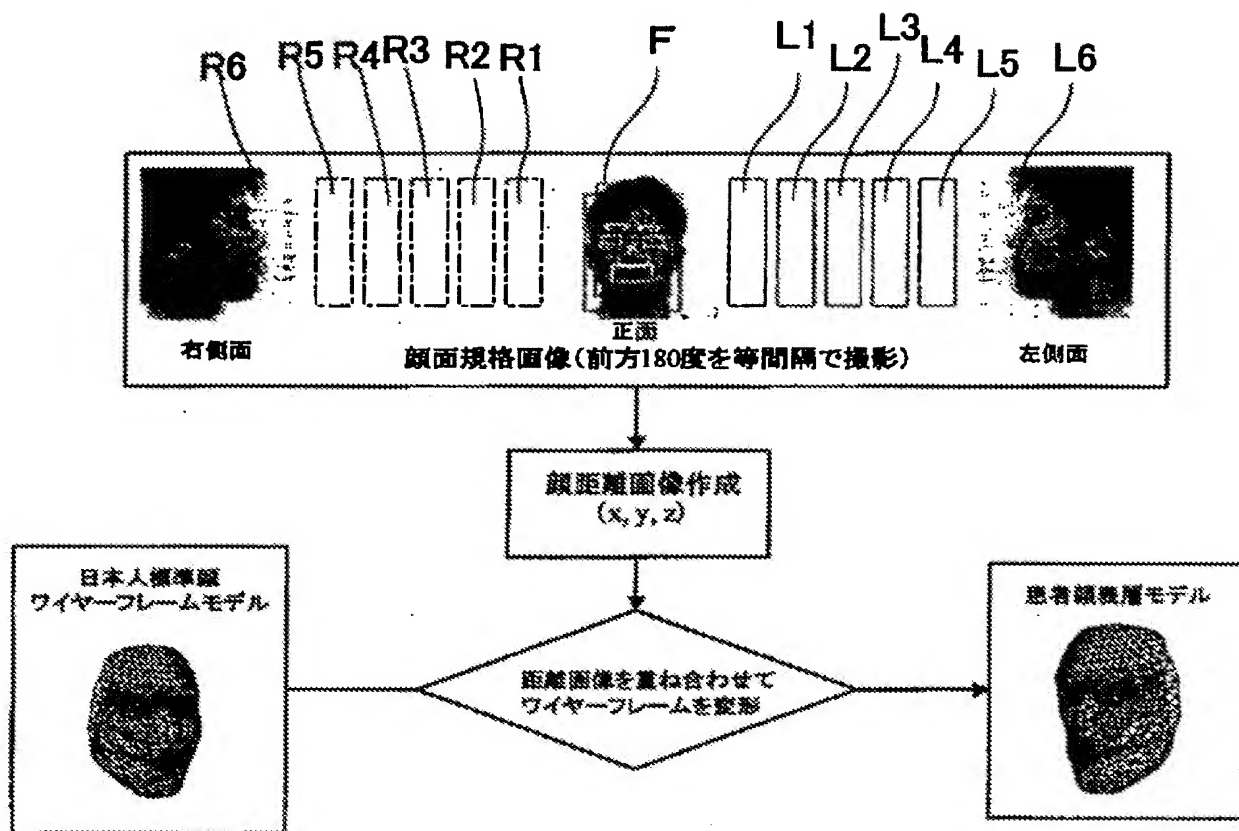
【図10】



(12)

【図4】

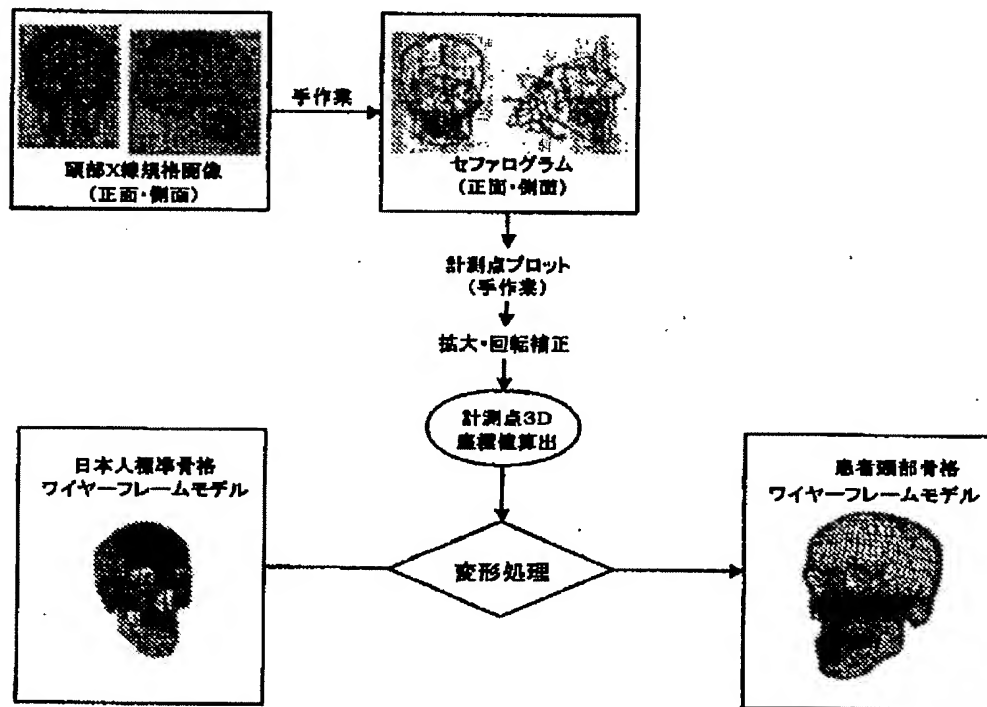
ステップ 2. 患者の3次元モデルの構築（顔表層モデル）



(13)

【図5】

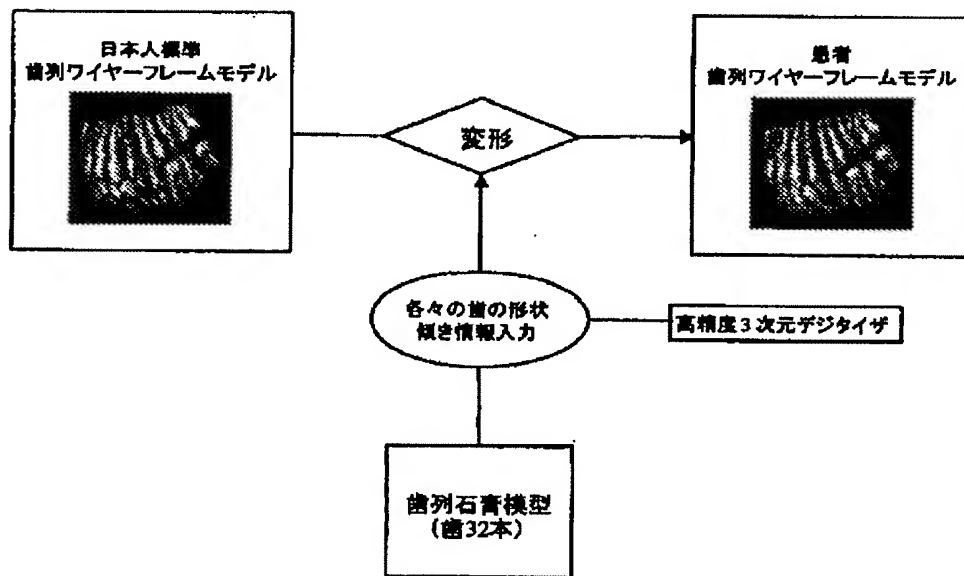
ステップ 2. 患者の顔の3次元モデルの構築（頭部骨格モデル）



(14)

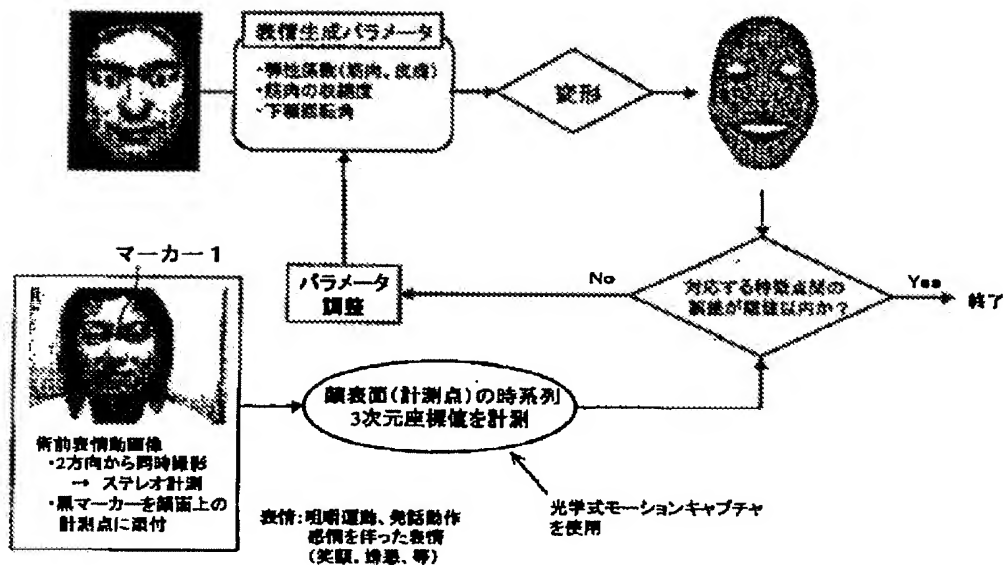
【図6】

## ステップ 2. 患者の顔の3次元モデルの構築 (歯列モデル)



【図11】

## ステップ 4 表情合成のための動画像からの顔面筋パラメータの推定

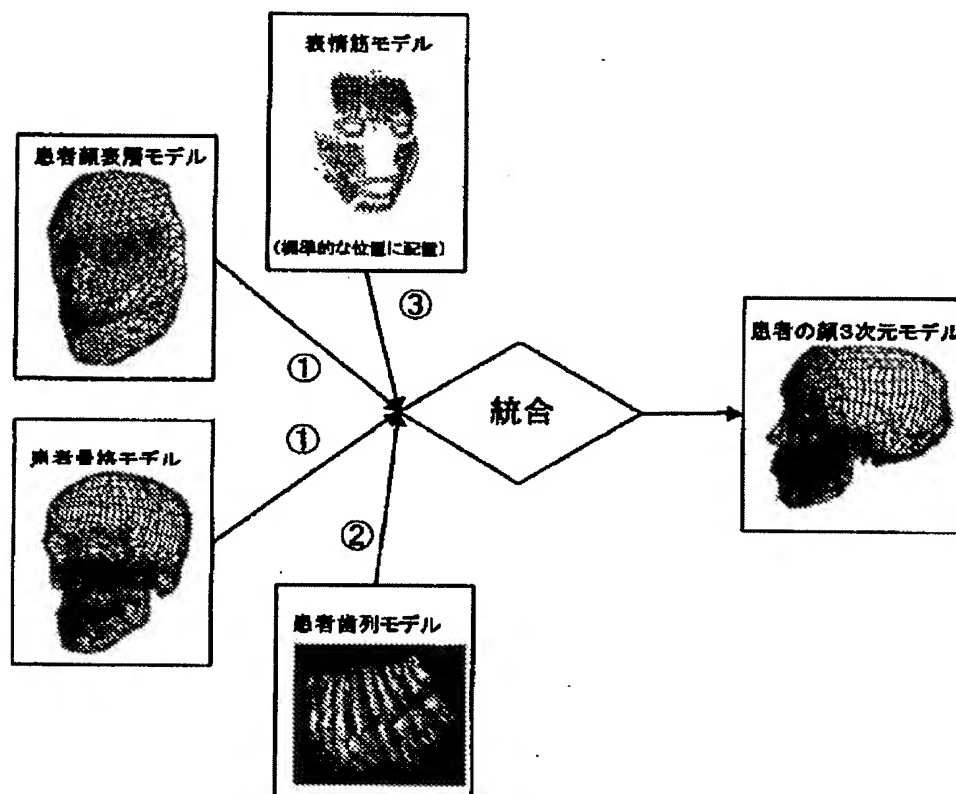




(15)

【図7】

ステップ 2 患者の顔の3次元モデルの構築（各モデルの統合）



フロントページの続き

(72) 発明者 中島 昭彦  
福岡県福岡市東区馬出3-1-1 九州大  
学大学院歯学研究院内

Fターム(参考) 5B050 AA02 AA08 BA08 BA09 BA12  
EA13 EA28  
5B057 AA07 AA20 CA13 CA17 CB13  
CB17 CC01 CD11 CE08  
5B080 AA18